



УДК 541.183:543.42

Влияние термической дегидратации полигидроксиалюминиевого монтмориллонита на адсорбцию четыреххлористого углерода

Муминов С. З., Курбонов С.Д., Эргашев О.К.

Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент

Поступила в редакцию 22.04.2014 г.

Исследованы изменения поверхностных свойств и пористой структуры монтмориллонита при замене обменного катиона минерала на полигидроксиалюминиевые. Предварительное термовакuumирование оказывает существенное влияние на адсорбционные свойства полигидроксиалюминиевого монтмориллонита (ПГАМ) по отношению к четыреххлористому углероду. По данным серий изостер адсорбции CCl_4 на дегидратированных ПГАМ, установлены зависимости теплот адсорбции от количества адсорбированного вещества.

Ключевые слова: адсорбция, изотерма, изостера адсорбции, теплота адсорбции, монтмориллонит.

Influence thermal dehydrated polihydroxialuminium montmorillonite on adsorption of carbon tetrachloride

Muminov S.Z., Kurbonov S.D., Ergashev O.K.

Institute of General and Inorganic chemistry of Academy science of Republic of Uzbekistan, Tashkent.

Results are analyzed of the study of the Adsorption and Differential Isothermic Heats of Adsorption of Carbon Tetrachloride on Polyhydroxyaluminum Montmorillonite dehydrated in the interval 293-873K. Isotherms of adsorption were measured at sorption plant with quartz spring balances similar to Mak-Ben's, but isosters – on volumes plant for direct measure of adsorption of isosters. Formation of chinkous micropores upon substitution of cations of sodium on polyhydroxyaluminum leads to rapid increase of adsorption the volume of minerals and the increase of thermostability. Dependence of heat adsorption of size of adsorption has extreme character. Heat adsorption of CCl_4 on PHAM dehydrated at 423 K was much more than the sample dehydrated at 873 K.

Keywords: adsorption, isotherms, isosters of adsorption, heat of adsorption, montmorillonite.

Введение

Характерным для смектитовых слоистых алюмосиликатов является расстояние между трехслойными пакетами, которое определяется размером катионного комплекса, находящегося в межслойном пространстве между пакетами. Интеркалированным глинистым адсорбентам с гидроксикатионами металлов придается большое значение в связи с тем, что они обладают высокой адсорбционной способностью не только по отношению к молекулам полярных веществ (спирты, кетоны, амины и др.), но и молекулам неполярных веществ (бензол, толуол, н-гексан, н-гептан, и др.) и макромолекулам (белок, поливиниловый спирт и другие вещества). Поэтому адсорбенты на основе монтмориллонита

применяют для очистки газов и жидкостей в адсорбционных технологиях. Адсорбционные свойства полигидроксиалюминиевого монтмориллонита (ПГАМ) определяется строением, зарядом, размером и распределением полигидроксиалюминиевых катионов (ПГАК) в межслойном пространстве. Адсорбция и теплоты адсорбции некоторых полярных и неполярных веществ на ПГАМ ранее изучались в работах [1-8]. Установлено, что различные ПГАК при внедрении в обменные позиции монтмориллонита раздвигают слои по оси *c*, создавая адсорбенты с разной щелевидной микропористостью. Так как дегидратирование ПГАМ при определенных условиях приводит к переходу ПГАК в алюмооксидные кластеры [9,10], то представляет интерес проследить за соответствующим изменением адсорбционных характеристик такого монтмориллонитового адсорбента. Глинистые минералы с расширяющейся структурой (монтмориллонит, вермикулит) в процессе адсорбции газов и паров меняют структуру из-за деформации. Этот вопрос для случаев адсорбции ацетонитрила и газов рассмотрены в работах [1,11,12]. Влияние предварительной дегидратации на равновесную адсорбцию паров различных веществ на глинистых минералах с модифицирующими олигокатионами металлов изучено недостаточно.

Цель работы – выяснение влияния термической дегидратации полигидроксиалюминиевого монтмориллонита на адсорбцию и теплоту адсорбции паров четыреххлористого углерода.

Эксперимент

Объектом исследования служил азкамарской белый бентонит (Узбекистан), состоящий в основном из натриевого монтмориллонита (NaM), характеризующийся емкостью катионного обмена $E=0,82$ мг-экв/г и химическим составом (в мас. %): $SiO_2-52.56$, $Al_2O_3-17.57$, $Fe_2O_3-2.56$, $CaO-1.20$, $MgO-3.02$, $SO_3-0.28$, $K_2O-0.27$, $Na_2O-5.16$, потери массы при прокаливании -17.16 .

Исследуемый полигидроксиалюминиевый монтмориллонит был приготовлен обработкой 3%-ной суспензии Na-монтмориллонита раствором гидрохлорида алюминия с молярным соотношением $OH/Al=2.37$. При такой основности раствора образуется комплекс $[Al_3O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$ с семизарядными катионами [13]. По данным рентгенографического анализа базальное межплоскостное расстояние ПГАМ равно 1.835 нм; расстояние между базальными поверхностями по оси *c* $\Delta d_{001}=0.895$, после прогрева при 773 К это расстояние становится равным 0.715 нм. Адсорбтивом служил четыреххлористый углерод, имеющий следующие основные физико-химические характеристики [14]: молекулярная масса 153.82, плотность при 293 К 1.594×10^3 кг/м³, давление насыщенного пара при 296К – 13.3×10^3 Па, теплота конденсации при 293 К – 33.20 кДж/моль. Щелевидные микропоры дегидратированного ПГАМ вполне доступны для молекул четыреххлористого углерода, имеющий критический диаметр 0.69 нм.

Изотермы адсорбции CCl_4 измерены с помощью весов Мак-Бена, а серия изостер – на изостерной установке [15] с малым объемом «мертвого пространства». Перед измерением адсорбции паров CCl_4 ПГАМ высушивали и прогревали в вакууме при 293, 423, 773 и 873 К (образцы I-IV, соответственно) до остаточного давления в системе $\sim 1.33 \times 10^{-3}$ Па.

Обсуждение результатов

На рис. 1 приведены изотермы адсорбции CCl_4 при 293 К на исходном Na-монтмориллоните (кривая 1) и на термообработанных образцах ПГАМ (кр. 2-5). Изотерма адсорбции на исходном Na-монтмориллоните (NaM) в начальной области относительных давлений (P/P_s) имеет малую крутизну, что свидетельствует о протекании процесса сорбции в основном на внешней поверхности сорбента без проникновения в межслоевое пространство минерала [16]. ПГАМ вакуумированный без нагрева дегидратируется не полно, тем не менее этот образец обладает довольно значительной сорбционной емкостью во всем интервале P/P_s . Адсорбция CCl_4 на ПГАМ, дегидратированном при 473К (образец II), более чем в шесть раз больше, чем на NaM. Основная масса физически адсорбированной влаги теряется модифицированной глиной в пределах 293-423К и начальная адсорбция при этом существенно возрастает. Адсорбция CCl_4 на образце, дегидратированном при 423К, наибольшая. В связи с дегидроксилированием и переводом ПГАК в алюмооксидные кластеры адсорбция CCl_4 на образцах, прогретых в вакууме при 773 и 873К (образцы III и IV), заметно снижается.

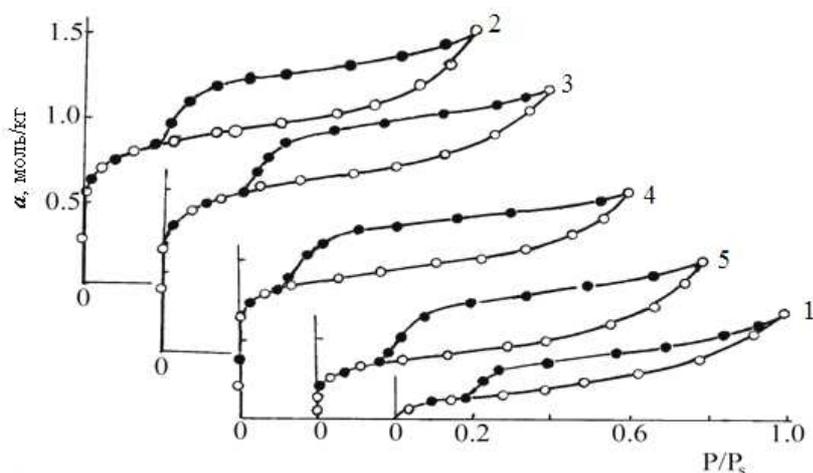


Рис. 1. Изотермы адсорбции паров четыреххлористого углерода при 293К на NaM (1) и на ПГАМ, дегидратированном при температурах 293 (2), 423(3), 773 (4) и 873 (5) К

Начальные участки изотерм адсорбции CCl_4 на NaM и на дегидратированных образцах ПГАМ при $P/P_s < 0.18-0.22$ обратимы. Ширина петель гистерезиса на изотермах адсорбции на образцах ПГАМ, более чем в два раза шире, чем на NaM. Форму петли гистерезиса на изотермах адсорбции CCl_4 на исходном NaM, так и на образцах ПГАМ, можно отнести к типу В по классификации Де Бура [17]. Появление петли гистерезиса на изотермах 2-5 (рис. 1) может быть вызвано адсорбцией в щелевидных порах, открытых со всех сторон. На изотермах десорбции при $P/P_s = 0.2-0.3$ наблюдаются относительно крутые изломы, появление которых объясняется разупорядочиванием тиксотропной структуры [18]. Изотерма адсорбции CCl_4 на образце NaM характеризуется слабой крутизной начального участка. Термообработка ПГАМ при 873К вызывает значительное сокращение объемов пор.

Величины сорбционных объемов термообработанных образцов ПГАМ при значении P/P_s , равных 0.2(W), 0.4(W_0) и 1.0 (V_s), а также объемы мезопор $W_{Me} = V_s - W_0$, рассчитанные по данным изотерм, приведены в таблице 1.

Вследствие увеличения свободного сорбционного объема при модифицировании монтмориллонита адсорбция CCl_4 на образцах ПГАМ в области малых и средних P/P_s значительно больше по сравнению с адсорбцией на NaM. При повышении температуры дегидратации до 423К объем микропор (W_0) растет на 11 %. Дегидратация ПГАМ в пределах 423-773К вызывает сокращение объема микропор всего на 9%, а при 873К уменьшение более чем 2,5 раза. Такой же характер изменения V_s ПГАМ наблюдается при его дегидратации в изученных пределах температур. Следует отметить, что ПГАК придают структуре монтмориллонита термостабильность и некоторую прочность связи слоев, поэтому образцы ПГАМ, термообработанные при температурах ниже и выше температуры перехода ПГАК в алюмооксидные кластеры (в пределах до 773К) обладают близкой сорбционной способностью. Расчеты показали, что объемы микропор (W_0) образцов I-III составляют 60-65% от общего объема пор, а объемы мезопор 35-45%. Можно заключить, что адсорбция CCl_4 при $P/P_s > 0.4$ протекает в основном с заполнением объемов мезопор ПГАМ.

Таблица 1. Адсорбционные объемы ($\text{м}^3/\text{кг}$) образцов монтмориллонита

Номер образца	Температура дегидратации, К	$W \cdot 10^3$	$W_0 \cdot 10^3$	$V_s \cdot 10^3$	$W_{\text{Me}} \cdot 10^3$
Полигидроксиалюминиевый монтмориллонит					
I	293	0.082	0.089	0.152	0.063
II	423	0.095	0.100	0.158	0.058
III	773	0.084	0.091	0.139	0.048
IV	873	0.033	0.039	0,096	0.057
Натриевый монтмориллонит					
V	423	0.038	–	0.053	0.013

Сравнение сорбционных объемов по CCl_4 и бензолу [6] образцов ПГАМ, термообработанных в одном и том же диапазоне температур, показало, что объемы микропор и сорбционные объемы при насыщении по CCl_4 для образцов I, II и III на 10-15 % меньше, чем по бензолу. Причиной является то, что ароматические углеводороды при $P/P_s > 0.4$ способны вызвать дополнительное расширение межплоскостного расстояния монтмориллонита [19], приводящее к переориентации обменных катионов, образуя супермикропоры шириной от 0.7 до 1.5 нм [20]. Следовательно, расхождение значения W_0 и V_s образцов ПГАМ, дегидратированных при 293-773К, объясняется дополнительным расширением объемов пор при сорбции C_6H_6 и отсутствием деформации структуры при сорбции CCl_4 . Уменьшение адсорбции CCl_4 на образцах III и IV связано с переходом ПГАК в алюмооксидные кластеры при 773К и их разрушением.

Энергетические данные определены по температурной зависимости параметров адсорбционного равновесия четыреххлористого углерода на ПГАМ предварительно термовакuumированном при температурах 423К и 873К. Для этого измерили семейства изостер адсорбции CCl_4 , соответствующие заполнениям от доли объема микропор до полного насыщения, в интервале 250-350 К. В качестве примера, на рис.2 приведено семейство изостер адсорбции CCl_4 на ПГАМ, дегидратированном при 873К, в координатах $\lg P - T^{-1}$.

Изостеры в этих координатах аппроксимируются прямыми линиями, наклоны которых изменяются с ростом адсорбции. По тангенсу угла наклона изостер были рассчитаны дифференциальные изостерические теплоты адсорбции Q_a (рис.3).

Кривые зависимости $Q_a=f(a)$ для исследованных систем CCl_4 – ПГАМ имеют аналогичную волнообразную форму. При малых адсорбциях на кривых 1 и 2 есть участки со снижением теплоты адсорбции до минимальных значений: для системы CCl_4 – II при $a= 0.54$ ($Q_a^{\min} \sim 36.5$ кДж/моль), а для другой системы при $a= 0.23$ моль/кг ($Q_a^{\min} \sim 35.0$ кДж/моль). В интервале адсорбций 0.54-0.78 и 0.23-0.36 моль/кг величина Q_a повышалась, достигая максимальных значений $Q_a^{\max} = 49.5$ и 39.0 кДж/моль, а затем резко уменьшались, приближаясь к теплоте конденсации четыреххлористого углерода (33.2 кДж/моль). Начальное уменьшение теплоты адсорбции CCl_4 на ПГАМ свидетельствует об энергетической неоднородности внешней поверхности сорбентов.

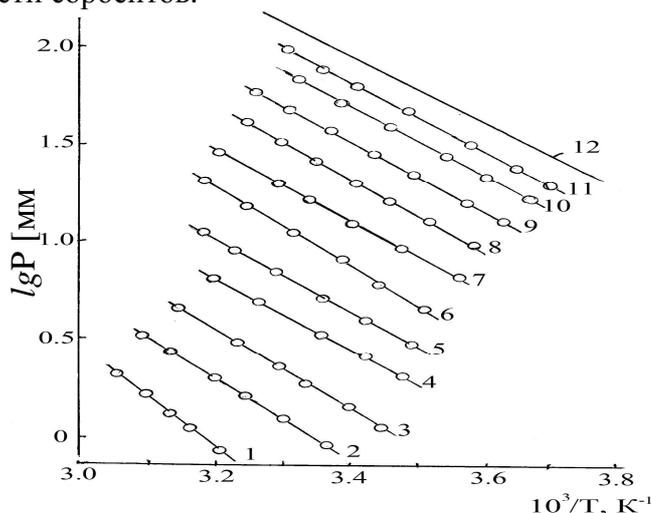


Рис. 2. Изостеры адсорбции паров четыреххлористого углерода на ПГАМ (образец IV), соответствующие количества адсорбированного вещества (моль/кг): 0.048 (1), 0.070 (2), 0.12 (3), 0.19 (4), 0.27 (5), 0.36 (6), 0.44 (7), 0.46 (8), 0.54 (9), 0.62 (10), 0.71 (11); для неадсорбированного CCl_4 (12)

Как установлено при изучении адсорбции CCl_4 на органоментмориллонитах [21] вплоть до $P/P_s = 0.005$ сорбция протекает на внешней поверхности; можно допустить такой же характер адсорбции и на ПГАМ в области низких давлений. При более высоких давлениях молекулы CCl_4 внедряются в межслойное пространство минерала и адсорбция обуславливается в основном щелевидной микропористостью. Теплоты адсорбции CCl_4 на исследуемых образцах ПГАМ, определенные приближенной экстраполяцией кривых $Q_a=f(a)$ к нулевому заполнению, составили ~ 59 и 48 кДж/моль на образцах II и IV, соответственно.

Начальное снижение Q_a могло быть и более резким, если бы при небольших заполнениях оно частично не компенсировалось их ростом за счет усиливающегося взаимодействия между адсорбированными молекулами. И действительно, как установлено при изучении адсорбции CCl_4 на графитированной термической саже [22], благодаря проявлению притяжения адсорбат-адсорбат теплота неспецифической адсорбции растет при увеличении заполнения от нуля до 80-90 % от емкости плотного мономолекулярного слоя.

Во всем интервале адсорбций Q_a на образце II больше, чем на образце IV, что, по-видимому, обусловлено ослаблением взаимодействия адсорбат-адсорбент вследствие структурных изменений при переходе ПГАК в алюмооксидные кластеры и изменения природы активных центров во внутреннем объеме пор.

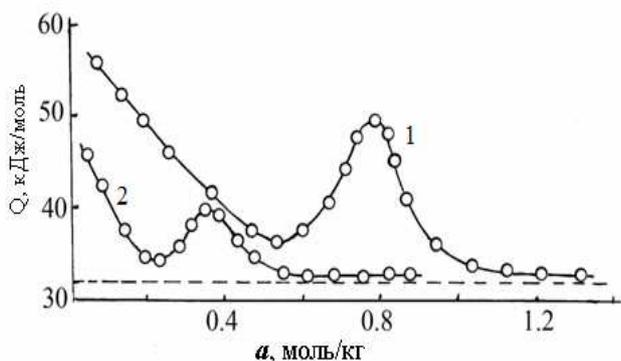


Рис. 3. Зависимости дифференциальных изостерических теплот адсорбции CCl_4 на ПГАМ, термообработанных при 423 (1) и 873 К (2). Штриховая линия соответствует теплоте конденсации CCl_4

Активными центрами образца II при адсорбции CCl_4 могут быть ПГАК, свободные кислородные участки этих катионов, кислородная поверхность кремнекислородного слоя, ионы Al^{3+} , изоморфно-замещающие кремний кремнекислородного слоя, ионы Na^+ , незамещенные на ПГАК, а у образца IV – свободные кислородные участки поверхности алюмооксидных кластеров и кремнекислородного слоя, координационно-ненасыщенные ионы Al^{3+} и др. Поверхностные гидроксилы ПГАМ не являются активными центрами по отношению к молекулам CCl_4 , т.к. они, как в случае адсорбции CCl_4 на кремнеземе, можно полагать, не чувствительны к поверхностным гидроксилам.

Заключение

Получены данные о влиянии условий дегидратации на адсорбционные и энергетические свойства полигидроксиалюминиевого монтмориллонита. Расчет теплоты адсорбции четыреххлористого углерода позволил установить ее изменения от степени заполнения. Показано, что несмотря на изменение природы ПГАК при дегидратации интеркалированной глины, она остается в целом микропористой. Установлена аналогия в изменениях теплот адсорбции CCl_4 на образцах полигидроксиалюминиевой глины, дегидратированной при температурах ниже и выше температуры перехода ПГАК в алюмооксидные кластеры.

Список литературы

1. Прибылов А.А., Муминов С.З., Калинникова И.И. и др. Адсорбция газов на слоистых силикатах при высоких давлениях // Изв. Академии наук. Сер.хим.2013. № 10. С. 2102-2107.
2. Муминов С.З., Гулямова Д.Б. Теплота адсорбции паров пиридина на полигидроксиалюминиевом монтмориллоните // Журн. физ.хим. 2000. Т.74. №б. С. 1085-1089.
3. Муминов С.З., Прибылов А.А., Гулямова Д.Б. и др. Равновесная адсорбция паров n-гексана и четыреххлористого углерода на натриевом и полигидроксиалюминиевом монтмориллоните // Коллоидн. журн. 2009. Т.71. №5 С. 672-677.
4. Муминов С.З., Гулямова Д.Б., Прибылов А.А. Адсорбция паров ацетонитрила на натриевом и полигидроксиалюминиевом монтмориллонитах // Коллоидн.журн. 2006. Т.68. № 5 С. 639-642.
5. Муминов С.З., Хандамов Д.А., Рахимова Г.Б. Теплота адсорбции паров n-гексана и n-гептана на полигидроксиалюминиевом монтмориллоните // Журн.физ.хим. 2011. Т.85. №1. С. 117-121.
6. Муминов С.З., Гулямова Д.Б., Арипов Э.А. Адсорбция паров бензола на термообра-

ботанном монтмориллоните с полигидрокси-алюминиевыми катионами // Журн. физ. хим. 1993. Т. 67. № 12. С. 2436-2439.

7. Муминов С.З., Гулямова Д.Б. Теплота адсорбции паров метилового спирта на микропористом монтмориллоните // Журн. физ. хим. 1997. Т. 71. № 10. С. 1834-1838.

8. Прибылов А.А., Муминов С.З., Калинин И.И. и др. Адсорбция диоксида углерода на монтмориллонитах различных катионообменных форм // Коллоидн. журн. 2010. Т. 79. № 3. С. 409-411.

9. Stacey M.H. Alumina-Pillared clays and their adsorptive properties // Catalysis today. 1988. V. 2/3. pp. 621-631.

10. Pinnavaia T.S. Intercalated clay catalysts // Science. 1983. V. 220. No 4595. pp. 365-369.

11. Фомкин А.А., Муминов С.З., Пулин А.Л. и др. Адсорбционная деформация микропористых адсорбентов // Современные проблемы теории адсорбции. М.: 1995. Т. 2. С. 172-179.

12. Фомкин А.А. Адсорбция в микропористых адсорбентах // Адсорбция, адсорбенты и сорбционные процессы в нанопористых материалах. М. 2011. С. 133-161.

13. Matsumoto M., Shinoda S., Takahashi H., Saito Y. Adsorption properties of pillar intercalated montmorillonite // Bull Chem. Soc. Jpn. 1987. V. 57. No 1. pp. 1795-1801.

14. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М. Наука. 1972. 720 с.

15. Муминов С.З. Установка для непосредственного измерения изостер адсорбции // Узбекский хим. журн. 1965. № 6. С. 58-62.

16. Муминов С.З., Арипов Э.А. Исследование в области термодинамики и термохимии адсорбции на глинистых минералах. Ташкент: Фан. 1987. 144 с.

17. De Boer J.H. The structure and properties of porous materials. London: Butterworth. 1958. 68 p.

18. Муминов С.З., Арипов Э.А., Рахимов А.А. Адсорбция и пористость // Под ред. М.М. Дубинина, В.В. Серпинского. М.: Наука. 1976. С. 71-72.

19. Barrer R.M., Reay J.S.S. Sorption and intercalation by montmorillonites // Trans. Faraday Soc. 1957. V. 53. pp. 1253-1258.

20. Dubinin M.M. Fundamentals of the Theory of physical adsorption of Gases and Vapours in Micropores / In Adsorption-Desorption Phenomena. London-New York. Acad. Press 1972. pp. 3-11.

21. Муминов С.З., Гулямова Д.Б., Сеитова Э.А. Температурная зависимость адсорбции четыреххлористого углерода на микропористом глинистом адсорбенте // Коллоидн. журн. 2001. Т. 63. № 6. С. 816-819.

22. Киселев А.В., Ковалева Н.В., Королев А.Я. и др. Химическое модифицирование поверхности адсорбентов и его влияние на адсорбционные свойства // Докл. АН СССР. 1959. Т. 124. № 3. С. 617-622.

References

1. Pribylov A.A., Muminov S.Z., Kalinnikova I.I. et al. Adsorbtsiya gazov na sloistykh silikatakh pri vysokikh davleniyakh [Adsorption of gases in lamellar silicates under high pressures], Izv. Akademii nauk. Ser. khim, 2013, No 10, pp. 2102-2107.

2. Muminov S.Z., Gulyamova D.B. Teplota adsorbtsii parov piridina na poligidroksialyuminievom montmorillonite [Heat Adsorption of Pyridine Vapors on Polyhydroxyaluminum Montmorillonite], Russian Journal of Physical Chem. A, 2000, V. 74, No 6, pp. 1085-1089.

3. Muminov S.Z., Pribylov A.A., Gulyamova D.B. et al. Equilibrium Adsorption of n-Hexane and Carbon Tetrachloride vapors on sodium and polyhydroxyaluminum Montmorillonites, Colloid journal, 2009, V. 71, No 5, pp. 672-677.

4. Muminov S.Z., Gulyamova D.B., Pribylov A.A. Adsorption of Acetonitrile Vapor on Sodium and Polyhydroxyaluminum Montmorillonites, Colloid Journal, 2006, V. 68, No 5, pp. 584-587.

5. Muminov S.Z., Khandamov D.A., Rakhimova G.B. Heats of n-Hexane and n-Heptane Vapor Adsorption Montmorillonite, Russian Journal of Physical Chem. A, 2011, V. 85., No 1, pp. 112-116.

6. Muminov S.Z., Gulyamova D.B., Aripov E.A. Adsorbtsiya parov benzola na termoobrabotannom montmorillonite s poligidroksialyuminievymi kationami [Adsorption of Benzene Vapors on Thermal Processing Montmorillonite With Polyhydroxyaluminum Cations], Russian

Journal of Physical Chem. A, 1993, V. 67, No 12, pp.2436-2438.

7. Muminov S.Z., Gulyamova D.B. Teplota adsorbtsii parov metilovogo spirta na mikroporistom montmorillonite [Heat Adsorption of Methanol Vapor on Microporous Montmorillonite], Russian Journal of Physical Chem. A, 1997, V. 71, No 10, pp.1834-1836.

8. Pribylov A.A., Muminov S.Z., Kalinnikova I.I., Shchekhovtsova L.G. Adsorbtsiya dioksida ugleroda na montmorillonitakh razlichnykh kationo-obmennyykh form, Kolloidn. Zhurn, 2010, T.72, No 3. pp. 409-411.

9. Stacey M.H. Alumina-Pillared clays and their adsorptive properties, Catalysis today. 1988. V. 2/3. pp. 621-631.

10. Pinnavaia T.S. Intercalated clay catalysts, Science, 1983 V. 220, No 4595, pp. 365-369.

11. Fomkin A.A., Muminov S.Z., Pulin A.L. et al. Adsorbtsionnaya deformatsiya mikroporistykh adsorbentov/Sovremennye problemy teorii adsorbtsii [Modern Problems Theory of Adsorption], M., 1995, V. 2, pp.172-179.

12. Fomkin A.A. Adsorbtsiya v mikroporistykh adsorbentakh/Adsorbtsiya, adsorbenty i sorbtsionnye protsessy v nanoporistykh materialakh [Adsorption, Adsorbents and Sorption Processes at Microporous Materials], M., 2011, pp. 133-161.

13. Matsumoto M., Shinoda S., Takahashi H., Saito Y. Adsorption properties of pillar intercalated montmorillonite, Bull Chem. Soc.Jpn, 1987, V. 57, No 1, pp. 1795-1801.

14. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svoistvam gazov i zhidkostei [Handbook for Heat Physics Properties of Liquids and Gases], M., Nauka, 1972, 720 p.

15. Muminov S.Z. Ustanovka dlya neposredstvennogo izmereniya izoster adsorbtsii [Plant for Direct Measure of Isosters Adsorption] Uzbekskii khim.zhurn, 1965, No 6, pp. 58-62.

16. Muminov S.Z., Aripov E.A., Issledovanie v oblasti termodinamiki i termokhimii adsorbtsii na glinistykh mineralakh [Studies in Thermodynamics and Thermochemistry of Adsorption on Clay Minerals], Tashkent, Fan. 1987, 144 p.

17. De Boer J.H. The structure and properties of porous materials, London, Butterworth, 1958, pp. 68.

18. Muminov S.Z., Aripov E.A., Rakhimov A.A./Adsorbtsiya i poristost'. Pod red [Adsorption and Porosity], M., Nauka, 1976, pp. 71-72.

19. Barrer R.M., Reay J.S.S. Sorption and intercalation by montmorillonites, Trans. Faraday Soc, 1957, V. 53, pp. 1253-1258.

20. Dubinin M.M. Fundamentals of the Theory of physical adsorption of Gases and Vapours in Micropores, In Adsorption-Desorption Phenomena, London-New York, Acad. Press, 1972, pp. 3-11.

21. Muminov S.Z., Gulyamova D.B., Seitova E.A. Temperature Dependence of the Adsorption of Carbon Tetrachloride on a Microporous Clay adsorbent, Colloid Journal, 2001, V. 63, No. 6, pp.746-749.

22. Kiselev A.V., Kovaleva N.V., Korolev A.Ya. et al. Khimicheskoe modifitsirovanie poverkhnosti adsorbentov i ego vliyanie na adsorbtsionnye svoistva [Chemical Modification of Adsorbents Surface and its Influence on Adsorption Properties], Dokl. AN SSSR, 1959, V. 124, No 3, pp. 617-622.

Муминов Субхутдин Зиявиддинович - д.х.н., профессор, главный науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан Ташкент, тел. (+99871) 262-56-60

Курбонов Санокул Душамович - к.х.н., ст.науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан Ташкент

Эргашев Ойбек Каримович - к.х.н., заведующий кафедрой, Наманганский инженерно-технологический институт, Наманган

Muminov Subkhutdin Z. -Leading Scientist, doctor of chemistry, professor, Institute of General and Inorganic chemistry of Academy science of Republic of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: subx39@rambler.ru

Kurbonov Sanokul D. - bachelor of chemical science, senior Scientist, Institute of General and Inorganic chemistry of Academy science of Republic of Uzbekistan, Tashkent.

Ergashev Oybek K. – bachelor of chemical science, head of the department, Namangan engineering technological institute, Namangan